ORIGINAL ARTICLE

대한치과의사협회지 2026; 64(10): 359-366
https://doi.org/10.22974/jkda.2026.64.10.002

Accuracy of implant according to support type of dental implant surgical guides: A retrospective study

치과용 임플란트 수술용 가이드의 지지방식에 따른 임플란트 식립의 정확도 평가: 후향적 연구

Kyung-Min Im[1], Gi-Won Sung[1], Ho-Young Cha[1], Chul-Hoon Kim[1], Bok-Joo Kim[1], Jung-Han Kim[1], Sun-Woo Kang[2,*]

[1]Department of Oral and Maxillofacial Surgery, College of Medicine, Dong-A University, Busan, Korea
[2]Department of Prosthodontics, College of Medicine, Dong-A University, Busan, Korea

ABSTRACT

Purpose: This study evaluated the influence of surgical guide support type on implant placement accuracy by comparing planned and actual implant positions.
Materials and Methods: Thirty-two patients who underwent guided implant surgery between January 2024 and April 2026 were included. 136 implants were analyzed: 60 in 9 edentulous patients and 76 in 23 partially edentulous patients. CAD/CAM surgical guides were fabricated using preoperative CBCT and intraoral scan data. Postoperative CBCT images were superimposed on planning data to measure coronal, apical, depth, and angular deviations. Guides were classified as tooth-supported or tissue-supported, with tooth-supported guides further categorized as unilateral or bilateral. Implant sites were classified as anterior, premolar, or molar.
Results: Tooth-supported guides showed lower coronal and apical deviations than tissue-supported guides (1.48 ± 0.09 vs. 1.95 ± 0.14 mm, p = 0.006; 1.85 ± 0.12 vs. 2.28 ± 0.15 mm, p = 0.030). Depth and angular deviations did not differ significantly. No significant differences were found between unilateral and bilateral tooth-supported designs. Implant location did not affect coronal, apical, or depth deviations but affected angular deviation. In tooth-supported guides, molar implants showed greater angular deviation than premolar implants (p = 0.031), whereas in tissue-supported guides, anterior implants showed greater angular deviation than premolar and molar implants.
Conclusion: Tooth-supported surgical guides provided greater implant placement accuracy than tissue-supported guides, particularly for coronal and apical deviations. Guide stability and implant site characteristics should be considered to improve the accuracy and predictability of guided implant surgery. ***(J Korean Dent Assoc 2026; 64(10): 359-366)***

Key words : Dental Implants; Computer-Aided Surgery; Treatment Outcome

서론

치과용 임플란트 치료에서 고정체의 식립 위치는 장기적인 성공과 예후를 결정하는 중요한 요소이다. 이상적인 위치에 식립된 임플란트는 기능적 안정성과 심미성을 동시에 만족시킬 수 있으나 부정확한 식립은 상악동 또는 하치조신경과 같은 주요 해부학적 구조물의 손상을 초래할 수 있으며[1], 나아가 보철적 문제 및 생물학적 합병증으로 이어질 수 있다[2].

정확한 임플란트 식립을 위해 다양한 보조 기술들이 개발되어 왔으며, 전통적인 수술용 스텐트(surgical stent), 수술용 가이드(surgical guide), 동적 유도 내비게이션(dynamic guided

Received May 31, 2026; Revised Oct 8, 2026; Accepted Oct 15, 2026

*Corresponding author: Prof. Sun-Woo Kang
Department of Prosthodontics, College of Medicine, Dong-A University, 26, Daesingongwon-ro, Seo-gu, Busan 49201, Korea.
Tel: +82-51-240-5470, E-mail: kalisto002@dau.ac.kr

ISSN: 0376-4672
eISSN: 2713-7961

Copyright© 2026 by Korean Dental Association
This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY-NC-ND) license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

navigation)에 이르기까지 다양한 방법이 이용되고 있다[3]. 전통적인 수술용 스텐트는 진단 모형과 보철적 정보를 바탕으로 임플란트의 식립 위치와 방향을 수술 부위에 전달하는데 활용되어 왔으나 해부학적 구조에 대한 3차원적 정보를 충분히 반영하기 어렵고 계획된 위치를 정확하게 재현하는데 한계가 있을 수 있다. Ramasamy 등(2013)은 cone beam computed tomography (CBCT) 영상, 3차원 임플란트 계획 소프트웨어 및 컴퓨터 기반 가이드 제작 기술의 도입이 기존 수술용 가이드의 이러한 한계를 보완할 수 있다고 보고하였다[4]. 또한 Somogyi-Ganss 등(2015)은 정적 및 동적 컴퓨터 유도 방식이 기존의 수동으로 만든 stent와 비교하여 전반적으로 높은 정확도를 나타낸다고 보고하였다[5].

최근에는 CAD/CAM 기술과 방사선 영상의 발전으로 디지털 기반의 수술용 가이드가 높은 신뢰도와 활용도를 보이며 임상에서 널리 사용되고 있다[6]. 수술용 가이드는 술자가 계획한 위치에 임플란트를 정확히 식립할 수 있도록 도우며 최소침습적 수술을 수행함으로써 통증과 부종을 감소시키고 회복을 촉진하는 장점이 있다. 또한 수술 시간 및 치료 기간 단축이 가능하다는 점에서 임상적 효용성이 높다[7]. Malo 등(2007)은 computer-guided flapless implant surgery를 이용한 임플란트 식립의 임상적 적용 가능성을 보고하였으며 이후 다양한 guide surgery의 정확성과 임상적 유용성이 연구되어 왔다[8].

그러나 디지털 방식으로 제작된 수술용 가이드에서도 계획된 위치와 실제 임플란트 식립 위치 사이의 오차가 발생할 수 있다. 특히 가이드의 제작 과정에서 발생하는 오차나 변형은 임상적 정확도에 영향을 미칠 수 있으며, Stumpel(2012)은 stereolithography 방식으로 제작된 수술용 가이드의 변형이 가상으로 계획된 위치와 실제 임플란트 위치 사이의 불일치를 유발할 수 있음을 보고하였다[9]. 수술용 가이드의 정확성에 영향을 미치는 여러 요인 중 하나는 구강 내에서의 가이드 안정성이다[10]. 가이드가 구강 내에서 움직일 경우 계획된 위치와 실제 식립 위치 간의 오차가 발생할 수 있다. 수술용 가이드의 안정성은 지지 방식에 영향을 받으며, 임플란트 식립 위치 및 무치악부의 형태 등에도 영향을 받을 수 있다[11,12].

현재까지 수술용 가이드의 정확도에 관한 다양한 연구가 이루어져 왔으나, 지지 방식에 따른 비교가 주를 이루며, 지지 형태와 임플란트 식립 위치를 함께 고려하여 수술용 가이드의 안정성과 정확도를 평가한 임상 연구는 제한적이다. 따라서 본 연구에서는 CBCT와 구강스캔 데이터를 기반으로 계획하고 3D printer를 이용하여 제작한 수술용 가이드를 이용하여 식립한 임플란트를 대상으로, 가이드의 지지 방식 및 지지 형태와 임플란트 식립 위치에 따른 정확도를 후향적으로 분석하고, 이를 통해 가이드의 안정성과 관련된 임상적 요인을 평가하고자 하였다.

재료 및 방법

본 연구는 2024년 1월부터 2026년 4월까지 동아대학교병원 구강악안면외과에 내원하여 수술용 가이드를 이용한 임플란트 식립술을 시행받은 총 32명의 환자에서 식립된 136개의 임플란트를 대상으로 하였다. 연구 대상은 만 18세 이상이면서 임플란트 식립 전·후 CBCT를 촬영한 환자로 선정하였다. 조절되지 않는 전신질환이 있거나 두경부 방사선 치료의 병력이 있는 환자는 연구 대상에서 제외하였다. 본 연구는 동아대학교병원 기관생명윤리위원회(Institutional Review Board, IRB)의 승인을 받아 수행되었으며(승인번호: DAUHIRB-26-085), 모든 연구 절차는 헬싱키 선언(Declaration of Helsinki)에 준하여 시행되었다.

수술용 가이드 제작을 위해 수술 전 CBCT (Green 16, Vatech, Hwaseong, Korea)를 이용하여 영상을 획득하였다. 촬영 조건은 field of view(FOV)는 16 x 9 cm, voxel size 0.3 mm, tube voltage 94 kVp, tube current 8.0 mA로 설정하였다. 이후 구강스캐너(Primescan, Dentsply Sirona, Charlotte, USA)를 이용하여 구강 내 정보를 채득하였다. CBCT 영상과 구강 스캔 데이터를 각각 DICOM 및 STL 형식으로 추출하여 각각의 데이터를 정합하였다. 이후 수술용 가이드 제작 소프트웨어 (Dentiqguide, Dentis, Daegu, Korea)를 이용하여 보철물의 이상적인 위치를 반영하여 임플란트 식립 위치를 계획하고 수술용 가이드를 디자인한 후 mesh 파일을 획득하여 3D 프린터(Zenith D, Dentis, Daegu, Korea)를 이용하여 수술용 가이드를 제작한 후 세척 및 중합의 과정을 제조사의 권장에 따라 시행하였다. 모든 가이드는 적합성의 확인을 위한 구멍을 형성하였으며, sleeve를 사용하였다.

모든 수술은 국소마취하에서 무균 상태로 3명의 숙련된 구강악안면외과 전문의에 의해 시행되었다. 각 증례에서 사전에 수립된 수술 계획에 따라 수술용 가이드를 구강 내에 장착한 후 순차적으로 드릴링 및 임플란트 식립을 시행하였다(Fig. 1). 골

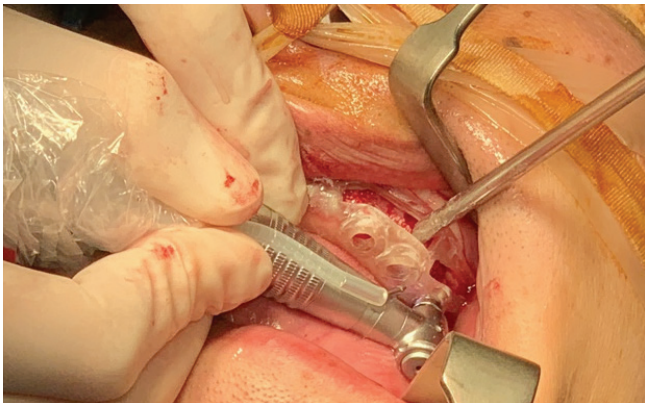


Fig. 1. Guided implant surgery procedure
The surgical guide was positioned. Guided drilling and implant placement were then performed according to the planned implant position.

Table 1. Distribution of implants according to surgical guide characteristics and implant related factors

Category	Subgroup	Implants
Surgical guide support type	Tissue support	60
	Tooth support	76
Implant site in tissue support guide	Anterior	23
	Premolar	17
	Molar	20
Implant site in tooth support guide	Anterior	26
	Premolar	19
	Molar	31
Support type of tooth support guide	Unilateral(distal extension)	57
	Bilateral(between teeth)	19
Timing of implant placement	Immediate placement	8
	Delayed placement	128

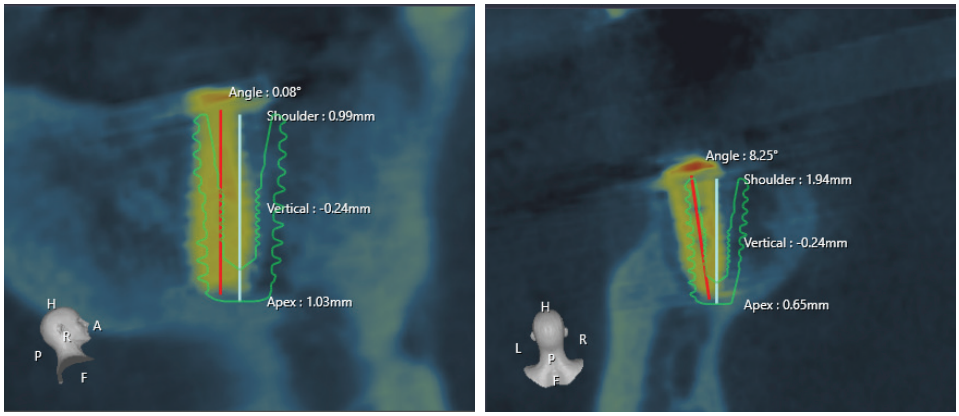


Fig. 2. Accuracy assessment by image superimposition Postoperative 3D images were superimposed onto the preoperative implant planning data using Dentiqguide software to assess the accuracy of implant placement.

이식이 필요한 증례에서는 임플란트 식립과 함께 골이식재를 이용한 골이식을 시행하였다. 총 136개의 임플란트 중 치아 지지 가이드를 이용하여 식립된 8개의 임플란트는 발치 후 즉시 식립되었으며, 나머지 임플란트는 치유된 무치악 부위에 식립되었다. 조직 지지 가이드를 사용한 증례에서는 가이드의 안정성을 확보하기 위해 증례별 구강 내 조건에 따라 추가적인 고정 방법을 적용하였다. 일부 증례에서는 전치부 및 양측 소구치부의 협측에 고정용 나사를 이용하여 가이드를 고정하였으며, 고정용 나사를 사용하지 않은 경우에는 악궁을 가로지르는 지지대를 포함하도록 가이드를 설계하여 점막 압박을 통한 안정성을 확보하였다. 또한 다수의 임플란트를 순차적으로 식립한 증례에서는 먼저 식립된 임플란트에 마운트 드라이버(mount driver)를 장착하고 이를 가이드의 슬리브에 위치시켜 추가적인 지지점으로 활용함으로써 수술 중 가이드의 움직임을 최소화하였다.

임플란트 식립 후 CBCT를 촬영하였으며, 가이드 제작 소프트웨어 (Dentiqguide)를 이용하여 수술 전 계획 데이터와 수술 후 CBCT 영상을 중첩하였다(Fig. 2). 정확한 영상 중첩을 위해 상악에서는 전비극 (anterior nasal spine)과 하안와공 (infraorbital foramen)을 기준점으로 사용하였으며, 하악에서는 이공 (mental foramen), 턱끝가시 (mental spine), 하악각 (angle of mandible)을 기준점으로 사용하였다. 중첩된 영상을 기반으로 계획된 임플란트와 실제 식립된 임플란트 사이의 플랫폼 및 근단부에서의 위치 차이인 선형 오차, 수직적 깊

이 차이인 깊이 오차, 그리고 임플란트 장축 사이의 각도 차이인 각도 오차를 Dentiqguide 소프트웨어에서 제공하는 3차원적인 거리 및 각도의 측정값을 이용하여 기록하였다(Fig. 3).

수술용 가이드는 지지 방식에 따라 완전 무치악에서 조직 지지 (tissue-supported) 가이드와 치아 지지 (tooth-supported) 가이드로 분류하였다. 조직 지지 가이드는 잔존 치아에 의한 지지 없이 무치악 치조제의 점막을 주된 지지 구조로 이용하는 경우로 정의하였으며, 치아 지지 가이드는 하나 이상의 잔존 치아에 가이드가 직접 접촉하여 지지를 얻는 경우로 정의하였다. 치아 지지 가이드는 지지 치아의 분포에 따라 양측성 지지 (between teeth)와 편측성 지지 (distal extension)로 세분화하였다. 또한 임플란트 식립 위치에 따른 정확성을 비교하기 위해 식립 부위를 전치부, 소구치부 및 대구치부로 분류하였다(Table 1).

통계 분석은 R software (version 4.5.1; R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria)를 이용하여 수행하였다. 측정값은 평균 ± 표준편차 (mean ± standard deviation, SD)로 제시하였다. 수술용 가이드의 지지 방식에 따른 정확성 비교와 치아 지지 가이드 내 지지 형태에 따른 비교에는 Welch's t-test를 적용하였다. 임플란트 식립 위치에 따른 정확성의 차이는 one-way analysis of variance (ANOVA)를 이용하여 분석하였으며, 유의한 차이가 확인된 경우 Tukey's post-hoc test를 이용하여 사후검정을 시행하였다. 통계적 유의수준은 $p < 0.05$로 설정하였다.

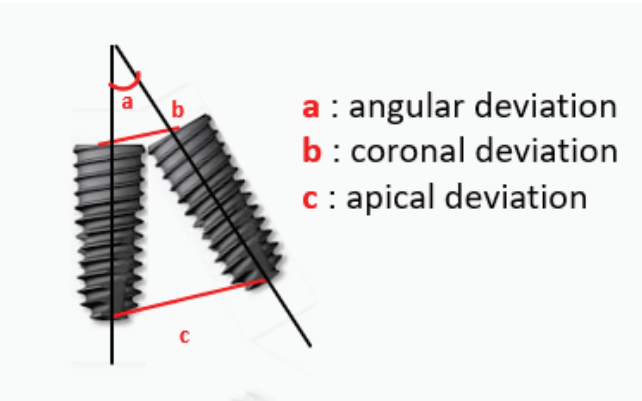


Fig. 3. Measurement of implant placement deviations Implant placement accuracy was evaluated by measuring a) angular deviations and linear deviations at the b) platform and c) apex between the planned and placed implants on the superimposed images.

결과

총 32명의 환자(남성 20명, 여성 12명, 평균 연령 62.6 ± 11.5세)에서 식립된 136개의 임플란트를 대상으로 분석을 시행하였다. 본 연구 대상의 특성은 Table 1과 같다.

조직 지지와 치아 지지 가이드 간 정확성을 비교한 결과, 플랫폼 상단 차이는 조직 지지군에서 1.95 ± 0.14 mm, 치아 지지군에서 1.48 ± 0.09 mm였으며, 조직 지지군에서 유의하게 큰 오차를 보였다 ($p = 0.006$). 플랫폼 하방 차이는 조직 지지군이 2.28 ± 0.15 mm, 치아 지지군이 1.85 ± 0.12 mm로 나타나 통계적으로 유의한 차이를 보였다 ($p = 0.030$). 각도 차이는 각각 5.11 ± 0.45°와 5.49 ± 0.37°로 유의한 차이가 없었다 ($p = 0.513$). 수직 깊이 차이에서는 조직 지지군 (1.03 ± 0.11 mm)과 치아 지지군 (0.88 ± 0.12 mm) 사이에 유의한 차이를 보이지 않았다 ($p = 0.367$) (Table 2).

치아 지지 가이드군 내에서 편측성 (distal extension)과 양측성 (between teeth) 지지 방식에 따른 비교에서는 플랫폼 상단 차이가 각각 1.49 ± 0.10 mm, 1.46 ± 0.20 mm ($p = 0.913$), 플랫폼 하방 차이가 각각 1.86 ± 0.14 mm, 1.87 ± 0.27 mm($p = 0.986$)로 유의한 차이를 보이지 않았으며, 각도 및 수직적 깊이 차이 역시 두 군 간 유의한 차이를 보이지 않았다 ($p > 0.05$) (Table 3).

치아 지지 가이드군에서 식립 위치에 따른 분석 결과, 플랫

Table 2. Comparison of implant placement accuracy tissue-support vs tooth support guide

Variable	Tissue-supported (Mean ± SD)	Tooth-supported (Mean ± SD)	p-value
Coronal deviation (mm)	1.95 ± 0.14	1.48 ± 0.09	0.006
Apical deviation (mm)	2.28 ± 0.15	1.85 ± 0.12	0.030
Angular deviation (°)	5.11 ± 0.45	5.49 ± 0.37	0.513
Depth deviation (mm)	1.03 ± 0.11	0.88 ± 0.12	0.367

Table 3. Comparison of implant placement accuracy unilateral(distal extension)-support vs bilateral(between teeth) support guide

Variable	Distal extension (Mean ± SD)	Between teeth (Mean ± SD)	p-value
Coronal deviation (mm)	1.49 ± 0.10	1.46 ± 0.20	0.913
Apical deviation (mm)	1.86 ± 0.14	1.87 ± 0.27	0.986
Angular deviation (°)	5.67 ± 0.41	4.96 ± 0.82	0.445
Depth deviation (mm)	0.89 ± 0.14	0.88 ± 0.20	0.974

Table 4. Comparison of implant placement accuracy according to implant site(teeth support guide)

Variable	Anterior (Mean ± SD)	Premolar (Mean ± SD)	Molar (Mean ± SD)	p-value
Coronal deviation (mm)	1.39 ± 0.15	1.55 ± 0.24	1.52 ± 0.11	0.810
Apical deviation (mm)	1.76 ± 0.20	1.97 ± 0.27	1.78 ± 0.23	0.837
Angular deviation (°)	4.79 ± 0.66	4.51 ± 0.60	6.58 ± 0.61	0.025
Depth deviation (mm)	0.85 ± 0.15	1.34 ± 0.41	0.65 ± 0.11	0.129

Table 5. Comparison of implant placement accuracy according to implant site(tissue support guide)

Variable	Anterior (Mean ± SD)	Premolar (Mean ± SD)	Molar (Mean ± SD)	p-value
Coronal deviation (mm)	2.14 ± 0.24	1.62 ± 0.19	1.98 ± 0.24	0.251
Apical deviation (mm)	2.56 ± 0.29	1.84 ± 0.19	2.28 ± 0.23	0.149
Angular deviation (°)	6.47 ± 0.94	4.40 ± 0.45	4.10 ± 0.57	0.013
Depth deviation (mm)	0.49 ± 0.32	0.11 ± 0.25	0.05 ± 0.27	0.564

폼 상단, 하방 및 수직 깊이 차이에서는 전치부, 소구치부, 대구치부 간 유의한 차이가 관찰되지 않았다 ($p > 0.05$). 그러나 각도 차이에서는 유의한 차이가 나타났으며 ($p = 0.025$), 사후 분석 결과 대구치부 (6.58 ± 0.61°)가 소구치부 (4.51 ± 0.60°)에 비해 유의하게 큰 각도 차이를 보였다 ($p = 0.031$) (Table 4). 조직 지지 가이드군에서도 마찬가지로 플랫폼 상단, 하방 및 수직 깊이 차이에서는 전치부, 소구치부, 대구치부 간 유의한 차이가 관찰되지 않았다 ($p > 0.05$). 그러나 각도 차이에서는 전치부 (6.47 ± 0.94°)가 소구치 (4.40 ± 0.45°), 대구치부 (4.10 ± 0.57°)에 비해 유의하게 큰 값을 나타냈다(Table 5).

고찰

본 연구에서는 조직 지지에 비해 치아 지지 가이드에서 플랫폼 상단 및 하방의 차이에서 유의하게 작은 값을 보였다. 이는 치아 지지 가이드가 조직 지지 가이드에 비해 전반적으로 더 높은 정확성을 보인다고 보고한 Raico Gallardo 등(2017)의 연구결과와 일치한다[11]. 이는 치아가 연조직에 비해 변형이 적고 안정적인 지지 구조를 제공함으로써 수술용 가이드의 적합도와 안정성을 향상시키기 때문으로 생각된다. 반면 각도 차이에서는 치아 지지 가이드군과 조직 지지 가이드 간 유의한 차이는 관찰되지 않았으며, 이는 치아 지지 가이드가 더 작은 각도 오차를 보였던 다른 선행 연구 결과와는 다른 양상이었다.

본 연구의 치아 지지 가이드군에는 발치 후 즉시 식립 증례가 8개(10.5%) 포함되어 있었던 반면, 조직 지지 가이드군은 모두 지연 식립되었다. 즉시 식립의 경우 발치와의 형태, 초기 고정 확보 과정 및 잔존 치조골의 해부학적 제한(cortical interference) 등에 의해 계획된 식립 방향과 실제 식립 방향 사이에 추가적인 편차가 발생할 수 있다[13]. Mittal 등(2025)은 가이드를 이용한 단일 구치부 임플란트 식립에서 즉시 식립군이 지연 식립군에 비해 각도 및 플랫폼 상단의 평균값은 다소 크게 나타났으나 통계적으로 유의한 차이는 없었으며, 식립 깊이에서만 유의한 차이를 보고하였다[14]. 따라서 본 연구의 각도 차이의 수치는 지지 방식 자체의 영향이라기보다는 즉시 식립 증례가 포함된 데 따른 결과일 가능성이 있다.

본 연구는 치아 지지 가이드에서 양측성 지지가 편측성 지지에 비해 더 적은 오차값을 보였다. 이는 편측성 지지 상황

에서 식립된 구치부 임플란트의 정확도가 감소함을 보고한 El Kholy 등(2019)의 연구 결과와 일치한다[15]. 또한 자유단의 길이가 증가할수록 3차원적 변위가 증가하는 경향을 보였다. 이는 치아 지지 가이드라 하더라도 양측에서의 견고한 지지가 확보되지 않고 자유단이 존재하는 경우, 가이드의 구조적 안정성이 저하되어 임플란트 식립 정확도에 부정적인 영향을 미칠 수 있음을 시사한다.

본 연구에서 식립 위치에 따른 정확도를 분석한 결과, 플랫폼 상단 및 하방의 차이에서는 전치부, 소구치부, 대구치부 간 유의한 차이가 관찰되지 않았다. 그러나 각도 차이에서는 유의한 차이가 나타났으며, 치아지지 가이드에서 대구치부가 소구치부에 비해 유의하게 큰 값을 보였다. 이러한 결과는 식립 위치가 수술용 가이드의 정확도에 영향을 줄 수 있다는 선행연구[16]와 일치한다. Derksen 등(2019)은 치아 지지 수술용 가이드를 이용한 전향적 임상 연구에서 식립 위치, 무치악 공간의 길이, 임플란트 길이 및 피질골 간섭이 정확도에 영향을 미치는 요인이라고 보고하였다[13].

후방부 임플란트에서 각도 차이가 증가하는 경향은 제한된 시야와 기구 접근성의 어려움으로 설명될 수 있다. 구치부에서는 개구량, 잔존 치아, 대합치 및 핸드피스의 접근 방향에 의해 드릴링 축을 계획된 방향과 일치시키기 어려울 수 있다. Bae와 Lee의 문헌고찰(2021)에서도 최후방 임플란트, 특히 제2대구치 부위에서 더 큰 각도 오차가 발생할 수 있다고 보고하였다[17]. 따라서 본 연구에서 대구치부의 각도차이가 증가한 것은 치아 지지 가이드 자체의 부정확성보다는 후방부 식립 시 발생하는 기구의 접근 제한이 복합적으로 작용한 결과로 해석할 수 있다. 반면, 본 연구에서는 조직지지군의 각도차이에서 전치부가 소구치, 대구치부에 비해 유의하게 큰 값을 나타냈는데 이는 치아지지에 비해 상대적으로 구치부로의 기구 접근 및 시야확보가 용이하며 전치부의 경우 조직지지는 치아지지에 비해 가이드의 고정이 부족하기 때문에 수술용 가이드의 회전 운동에 의한 각도차이가 후방 치아에 비해 클 수 있음으로 해석할 수 있다.

Tahmaseb 등(2018)은 체계적 문헌고찰 및 메타분석을 통해 static computer-aided implant surgery (s-CAIS)의 정확도를 평가하였으며, 임플란트 식립 시 상단부와 근단부에서의 평균 오차가 각각 1.2 mm와 1.4 mm, 평균 각도 오차가 3.5°라고 보고하였으며, 부분 무치악 증례가 완전 무치악 증례보다 유의하게 높은 정확성을 나타낸다고 하였다[18]. 이와 같은 선행연구를 포함하여 당시까지 축적된 임상적 근거와 전문가 의견을 종합한 2018 International Team for Implantology (ITI) Consensus에서는 s-CAIS 시행 시 중요 해부학적 구조물로부터 2 mm의 안전영역(safety margin)을 확보할 것을 권고하였다[19]. 본 연구에서는 조직 지지군과 치아 지지군에서 플랫폼 상단부의 평균 오차가 각각 1.95 mm와 1.48 mm, 근단부의 평균 오차가 각각 2.28 mm와 1.85 mm, 평균 각도 오차가 각각 5.1°와 5.5°로 나타나 기존 연구에서 보고된 평균값보다 다소 큰 경향을 보였다. Zhou 등(2018)은 정확도에 영향을 미치는 주요 임상적 요인으로 가이드 고정 방식, 지지 양식 및 판막 거상 유무를 제시하였으며, 고정용 나사를 이용한 완전 유도 무절개 수술에서 가장 높은 정확도를 보고하였다[20]. 본 연구에서는 대부분의 조직 지지 증례에서 고정용 나사를 사용하지 않았고 판막 거상을 포함하는 수술방식을 시행하였다는 점에서 기존 연구에 비해 다소 큰 오차가 발생하였다고 생각된다.

본 연구 결과를 통해 수술용 가이드의 지지 방식과 안정성이 임플란트 식립 정확도에 중요한 영향을 미친다는 점을 다시 한번 확인할 수 있었다. 특히 치아 지지 가이드는 조직 지지 가이드에 비해 더 작은 플랫폼 상단, 하방 차이를 나타내어 높은 정확성을 보였으며, 양측성 치아 지지를 확보할 수 있는 경우 더욱 안정적인 결과를 얻을 수 있음을 확인하였다. 또한 식립 위치에 따라 각도 차이가 발생할 수 있으므로, 특히 구치부 식립 시에는 제한된 시야와 접근성을 고려하여 보다 세심한 술식이 요구된다.

한편 조직 지지 가이드의 경우에도 적절한 디지털 계획과 정확한 영상 중첩 과정을 거친다면 치아 지지 가이드와 유사한 수준의 정확성을 얻을 수 있음을 확인하였다. 특히 본 연구에서는 기존 의치 또는 임시 의치를 활용하여 가이드의 적합도를 향상시킴으로써 조직 지지 가이드의 정확성을 개선할 수 있었다. 따라서 완전 무치악 환자에서 수술용 가이드를 이용한 임플란트 수술을 계획할 경우, 잘 적합된 의치의 활용과 정밀한 디지털 워크플로우 구축이 중요할 것으로 생각된다. 또한 조직 지지 가이드 또는 긴 무치악 구간을 포함하는 증례에서는 고정용 나사를 이용한 추가적인 고정, 적절한 지지 구조의 설계 및 수술용 가이드의 안정성 확보가 정확도 향상에 도움이 될 것으로 판단된다. 이러한 결과는 임상가가 수술용 가이드의 설계 및 사용 방법을 결정하는 데 있어 실질적인 근거를 제공할 수 있을 것으로 생각된다.

본 연구는 몇 가지 한계를 가진다. 첫째, 단일 기관에서 시행

된 후향적 연구로서 결과를 일반화하는 데 제한이 있다. 둘째, 본 연구에서는 지지 방식과 식립 위치를 중심으로 분석하였으나, 무치악 공간의 길이, 잔존 치아 수, 임플란트 길이 및 직경, 발치 즉시 식립 여부, 고정용 나사 사용 여부 등 다양한 변수들을 독립적으로 분석하지 못하였다. 이러한 변수들은 선행연구에서 정확도에 영향을 미치는 요인으로 보고된 바 있어 추가적인 연구가 필요할 것으로 생각된다. 셋째, 본 연구의 수술은 3명의 술자에 의해 시행되었으며, 술자의 경험과 술식의 차이가 결과에 영향을 미쳤을 가능성을 배제할 수 없다. 또한 수술 중 발생할 수 있는 미세한 보정 과정이나 임상적 판단 역시 실제 식립 위치에 영향을 주었을 가능성이 있다. 향후 보다 많은 증례를 대상으로 한 전향적 연구를 통해 수술용 가이드의 안정성에 영향을 미치는 다양한 요인을 규명한다면, 임플란트 식립의 정확성과 예측성을 더욱 향상시킬 수 있을 것으로 생각된다.

본 연구의 결과는 다음과 같다. 첫째, 치아 지지 가이드는 조직 지지 가이드보다 유의하게 플랫폼 상단 및 하방에서 작은 차이를 나타냈고 각도 차이는 치아 지지 가이드에서 더 큰 값을 보였고, 식립 깊이 차이는 조직 지지 가이드에서 더 큰 값을 보였다. 둘째, 치아 지지 가이드 내에서 편측성 지지와 양측성 지지 간에는 통계적으로 유의한 차이가 관찰되지 않았으나, 양측성 지지군에서 더 작은 오차를 보이는 경향이 나타났다. 셋째, 식립 위치에 따른 비교에서는 플랫폼 상단, 하방 및 식립 깊이에서는 차이가 없었으나 각도 차이에서는 유의한 차이가 나타났으며, 치아지지 가이드에서 대구치부가 소구치부에 비해 유의하게 큰 값을 보였으며, 조직지지 가이드에서는 전치부에서 소구치 및 대구치부위에 비해 더 큰 각도 차이를 보였다.

Conflicts of Interest: None

참고문헌

1. Ribas BR, Nascimento EH, Freitas DQ, Pontual AD, Pontual ML, Perez DE, et al. Positioning errors of dental implants and their associations with adjacent structures and anatomical variations: a CBCT-based study. Imaging Sci Dent 2020; 50: 281-290.
2. Younis H, Lv C, Xu B, Zhou H, Du L, Liao L, et al. Accuracy of dynamic navigation compared to static surgical guides and the freehand approach in implant placement: a prospective clinical study. Head Face Med 2024; 20: 30.
3. Kuo PJ, Lin CY, Hung TF, Chiu HC, Kuo HY. A novel application of dynamic guided navigation system in immediate implant placement. J Dent Sci 2022; 17: 354-360.
4. Ramasamy M, Giri, Raja R, Subramonian, Karthik, Narendrakumar R. Implant surgical guides: from the past to the present. J Pharm Bioallied Sci 2013; 5: S98-S102.
5. Somogyi-Ganss E, Holmes HI, Jokstad A. Accuracy of a novel prototype dynamic computer-assisted surgery system. Clin Oral Implants Res 2015; 26: 882-890.
6. Afshari A, Shahmohammadi R, Mosaddad SA, Pesteei O, Hajmohammadi E, Rahbar M, et al. Free-hand versus surgical guide implant placement. Adv Mater Sci Eng 2022; 2022: 6491134.
7. Unsal GS, Turkyilmaz I, Lakhia S. Advantages and limitations of implant surgery with CAD/CAM surgical guides: a literature review. J Clin Exp Dent 2020; 12: e409-e417.
8. Malo P, de Araujo Nobre M, Lopes A. The use of computer-guided flapless implant surgery and four implants placed in immediate function to support a fixed denture: preliminary results after a mean follow-up period of thirteen months. J Prosthet Dent 2007; 97: S26-S34.
9. Stumpel LJ. Deformation of stereolithographically produced surgical guides: an observational case series report. Clin Implant Dent Relat Res 2012; 14: 442-453.
10. Marquez Bautista N, Meniz-García C, López-Carriches C, Sánchez-Labrador L, Cortés-Bretón Brinkmann J, Madrigal Martínez-Pereda C. Accuracy of different systems of guided implant surgery and methods for quantification: a systematic review. Appl Sci 2024; 14: 11479.
11. Raico Gallardo YN, da Silva-Olivio IR, Mukai E, Morimoto S, Sesma N, Cordaro L. Accuracy comparison of guided surgery for dental implants according to the tissue of support: a systematic review and meta-analysis. Clin Oral Implants Res 2017; 28: 602-612.
12. Shi Y, Wang J, Ma C, Shen J, Dong X, Lin D. A systematic review of the accuracy of digital surgical guides for dental implantation. Int J Implant Dent 2023; 9: 38.

13. Derksen W, Wismeijer D, Flügge T, Hassan B, Tahmaseb A. The accuracy of computer-guided implant surgery with tooth-supported, digitally designed drill guides based on CBCT and intraoral scanning. A prospective cohort study. Clin Oral Implants Res 2019; 30: 1005-1015.
14. Mittal S, Kaurani P, Goyal R. Comparison of accuracy between single posterior immediate and delayed implants placed using computer guided implant surgery and a digital laser printed surgical guide: a clinical investigation. J Prosthet Dent 2025; 134: 1133-1139.
15. El Kholy K, Lazarin R, Janner SF, Faerber K, Buser R, Buser D. Influence of surgical guide support and implant site location on accuracy of static computer-assisted implant surgery. Clin Oral Implants Res 2019; 30: 1067-1075.
16. Park JY, Song YW, Park SH, Kim JH, Park JM, Lee JS. Clinical factors influencing implant positioning by guided surgery using a nonmetal sleeve template in the partially edentulous ridge: multiple regression analysis of a prospective cohort. Clin Oral Implants Res 2020; 31: 1187-1198.
17. Bae JH, Lee SY. Clinical precautions for implant placement using computer-guided implant surgical guide: a systematic review. J Implantol Appl Sci 2021; 25: 147-157.
18. Tahmaseb A, Wu V, Wismeijer D, Coucke W, Evans C. The accuracy of static computer-aided implant surgery: a systematic review and meta-analysis. Clin Oral Implants Res 2018; 29: 416-435.
19. Wismeijer D, Joda T, Flügge T, Fokas G, Tahmaseb A, Bechelli D, et al. Group 5 ITI Consensus Report: digital technologies. Clin Oral Implants Res 2018; 29: 436-442.
20. Zhou W, Liu Z, Song L, Kuo CL, Shafer DM. Clinical factors affecting the accuracy of guided implant surgery-a systematic review and meta-analysis. J Evid Based Dent Pract 2018; 18: 28-40.